

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Oprava odlitků z duplexní oceli A 890 Gr. 4A v MSA a.s. Dolní Benešov

Repair of castings made from duplex stainless steel A 890 Gr. 4A in MSA a.s. Dolní Benešov

Student:

Jindřich Kozák

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.

Ostrava 2009

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Dále prohlašuji, že podklady poskytnuté podnikem MSA a.s. Dolní Benešov nebudou dále použity v žádné publikaci.

V Ostravě 22.5.2009

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 22.5.2009

.....

Jindřich Kozák

Poštovní č.124

Bohuslavice 747 19

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

KOZÁK, J. *Oprava odlitků z duplexní oceli A 890 Gr. 4A v MSA a.s. Dolní Benešov*. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, 38 s. Bakalářská práce, vedoucí: Hlavatý, I.

Bakalářská práce se zabývá možnostmi oprav odlitků z duplexních ocelí svařováním ve společnosti MSA a.s. Dolní Benešov. Součástí této práce je svaření desek z duplexní oceli a posouzení zkušebních vzorků.

Zkušební svary jsou provedeny metodou ručního svařování obalenou elektrodou (111). Vzorky byly podrobeny několika destruktivním a nedestruktivním zkouškám.

Výsledkem bakalářské práce je vytvoření návrhu protokolu PQR dle ASME CODE Sect. IX, edition 2007, addenda July 2008 a konečného technologického postupu pro opravu odlitků z duplexní oceli A 890 Gr. 4A, a to na základě vyhovujících výsledků zkoušek.

## **ANNOTATION OF THESIS**

KOZÁK, J. *Repair of castings made from duplex stainless steel A 890 Gr. 4A in MSA a.s. Dolní Benešov*. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava, 2008, 38 p. Thesis, head: Hlavatý, I.

In this thesis I deal with the options of repair castings made from duplex stainless steels by welding in MSA a.s. Dolní Benešov. A part of this thesis is welding of desks made from duplex stainless steel and consider samples.

Test welds are performed by SMAW (111). Samples were submitted some destructive and non-destructive tests.

As a result of thesis is creating a concept of protocol PQR according to ASME CODE Sect. IX, edition 2007, addenda July 2008 and finally technologic process for repair castings made form duplex stainless steel A 890 Gr. 4A, on the basis of satisfactory results of tests.

## Obsah bakalářské práce

Seznam použitého značení .....	2
1 Úvod .....	3
2 Posouzení svařitelnosti duplexních ocelí .....	5
2.1 Svařitelnost ocelí .....	5
2.2 Duplexní oceli .....	6
2.3 Vhodné metody svařování pro opravu odlitků z duplexních ocelí.....	9
2.4 Ochranné plyny používané pro svařování duplexních ocelí .....	10
2.5 Příprava svarových ploch .....	10
2.6 Očištění svarových ploch před svařováním .....	11
2.7 Předehřev .....	11
2.8 Mezihousesenková teplota.....	11
2.9 Vnesené teplo .....	12
2.10 Stehování .....	12
2.11 Zapálení a zhasnutí oblouku.....	12
2.12 Obecný návrh provedení svarového spoje.....	13
2.13 Tepelné zpracování po svařování .....	14
2.14 Čištění po svařování .....	14
2.15 Vady svarových spojů duplexních ocelí.....	15
2.16 Opravy odlitků svařováním .....	16
2.17 Zkoušení a záruky kvality .....	16
2.18 Manipulace a skladování přídavných materiálů.....	16
2.19 Korozní vlastnosti .....	17
2.20 Duplexní ocel A 890 Gr. 4A (S31803) .....	18
3 Návrh a volba technologie svařování .....	19
3.1 Volba technologie svařování .....	19
3.2 Volba vhodné elektrody .....	20
3.3 Volba parametrů .....	21
3.4 Rámcový technologický postup svařování pro zkušební desky .....	21
4 Provedení zkušebních svarů dle navrženého postupu svařování.....	22
5 Vyhodnocení vlastností svarových spojů .....	23
5.1 Zkouška prozářením .....	23
5.2 Zkouška kapilární .....	23
5.3 Zkouška tahem .....	24
5.4 Zkouška lámavosti.....	26
5.5 Zkouška rázem v ohybu .....	27
5.6 Metalografické zkoušení .....	28
5.7 Zkouška tvrdosti .....	31
5.8 Zkouška mikrotvrdosti .....	32
6 Vytvoření návrhu PQR.....	33
7 Návrh technologického postupu pro opravu odlitků z duplexních ocelí.....	33
8 Zhodnocení výsledků a možností oprav odlitků svařováním.....	35
9 Seznam použitých pramenů .....	37
10 Seznam příloh.....	38

## Seznam použitého značení

111	ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (ROS, dle am. norem SMAW)	
114	svařování plněnou elektrodou (FCAW)	
121	metoda svařování automatem pod tavidlem (SAW)	
131	svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (MIG)	
135	svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (MAG)	
141	obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu (TIG)	
15	svařování plasmou	
52	svařování laserem	
ASME	americké sdružení strojních inženýrů	
ASTM	americké sdružení pro zkoušky a materiály	
AWS	americké sdružení pro svařování	
EN	evropské normy	
KH	vzorek svarového kovu horní	
KS	vzorek svarového kovu spodní	
HV10	tvrdost dle Vickerse	
OK	oddělení kontroly	
PQR	protokol o kvalifikaci postupu svařování	
PT	penetrační zkouška	
RT	radiografická zkouška	
TH	vzorek z tepelně ovlivněné oblasti horní	
TOO	teplem ovlivněná oblast	
TS	vzorek z tepelně ovlivněné oblastí spodní	
UT	ultrazvuková zkouška	
VT	vizuální kontrola	
WPS	specifikace postupu svařování	
$F_{\max}$	maximální zatížení	[kN]
I	elektrický proud	[A]
Q	tepelný příkon	[kJ.mm <sup>-1</sup> ]
$R_m$	mez pevnosti	[MPa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
U	elektrické napětí	[V]
v	rychlost svařování	[cm.min <sup>-1</sup> ]

## 1 Úvod

V dnešní době je v průmyslu stále více vyžadováno používání moderních materiálů a technologií. Jednou z oblastí je využití korozivzdorných ocelí v různých odvětvích, jako je např. přeprava a zpracování ropy, plynu, jaderná i klasická energetika, dále tlakové nádoby, skladovací nádrže, ohřívače vody, tepelné výměníky, rotory, hřídele, atd. Zvláště v energetice, přepravě ropy a plynu se používá velké množství odlitků, které se pak zpracovávají na výsledný produkt, kterým mohou být různé kulové kohouty, šoupátka, ventily, klapky a další třeba i speciální armatury. Tyto armatury a potrubí jsou pak vystaveny různým korozním prostředím, teplotám a tlakům na různých místech světa. Proto musí materiály, z kterých jsou vyrobeny, splňovat náročné podmínky. Mezi tyto podmínky patří právě i korozivzdornost materiálů, zajištěná prvky jako chrom, molybden a další.

Při výrobě odlitků může docházet ke vzniku různých vad, jako jsou např. dutiny, vměstky atd. Těmto vadám lze předejít volbou vhodného materiálu odlitku, vhodným tvarováním formy pro odlitek tak, aby roztavený kov zatekl do všech míst dutiny a zároveň ho bylo možno z formy lehce vyjmout. Pokud už dojde ke vzniku určitých vad, je bezpodmínečně nutné tyto vady odstranit.

Tato práce se proto zabývá opravou odlitků z duplexní oceli A 890 Gr. 4A (S31803 dle ASTM), která jistě patří mezi korozivzdorné oceli. Duplexní, nebo-li austeniticko-feritické oceli jsou do jisté míry speciální. Tyto oceli jsou velice houževnaté a přitom dostatečně tvrdé, což nebývá u většiny ostatních skupin ocelí tak úplně zvykem. Jsou tvořeny dvěma fázemi, a to austenitem a feritem.

Bakalářská práce je zpracovávána ve spolupráci se společností MSA a.s. Dolní Benešov, která se zabývá výrobou průmyslových armatur a řadí se mezi světové výrobce, jež své výrobky vyvážejí do různých koutů světa. Výsledky práce budou použity při opravách výrobků, vyvážených do zemí jako např. Saudská Arábie, Indie, Turecko, Čína a v neposlední řadě samozřejmě Rusko.

Svařování duplexních ocelí vyžaduje dodržení několika zásad, aby bylo u svarového spoje dosaženo stejných korozních vlastností, jaké má základní materiál a současně nevznikly žádné trhliny či jiné vady ve svaru i základním materiálu. Úkolem této bakalářské práce je stanovení parametrů a podmínek pro opravy odlitků z duplexních ocelí pomocí svařování.

Cílem práce je vytvoření návrhu protokolu PQR dle normy ASME CODE Sect. IX, edition 2007, addenda July 2008 a následně sestavit konečný technologický postup pro opravu odlitků z duplexní oceli A 890 Gr. 4A (S31803).



## **2 Posouzení svařitelnosti duplexních ocelí**

### **2.1 Svařitelnost ocelí**

Svařitelnost je především vlastnost materiálu. Je to způsobilost, umožňující vytvořit, za jistých podmínek svařování, spoje požadovaných vlastností. Závisí především na materiálových vlastnostech, které jsou dané chemickým složením a metalurgií výroby oceli. Dále pak na konstrukčním řešení spoje, volbě druhu svarového spoje a samozřejmě na použité technologii svařování. Všeobecně svařitelnost oceli vyjadřuje důsledek tepelného a deformačního ovlivnění materiálu v oblasti spoje, vytvořeného procesem svařování. Při hodnocení svařitelnosti je nutné vzít v úvahu vzájemnou vazbu mezi základním materiálem, technologií svařování a konstrukčním provedením spoje, určujícím jeho tuhost [4].

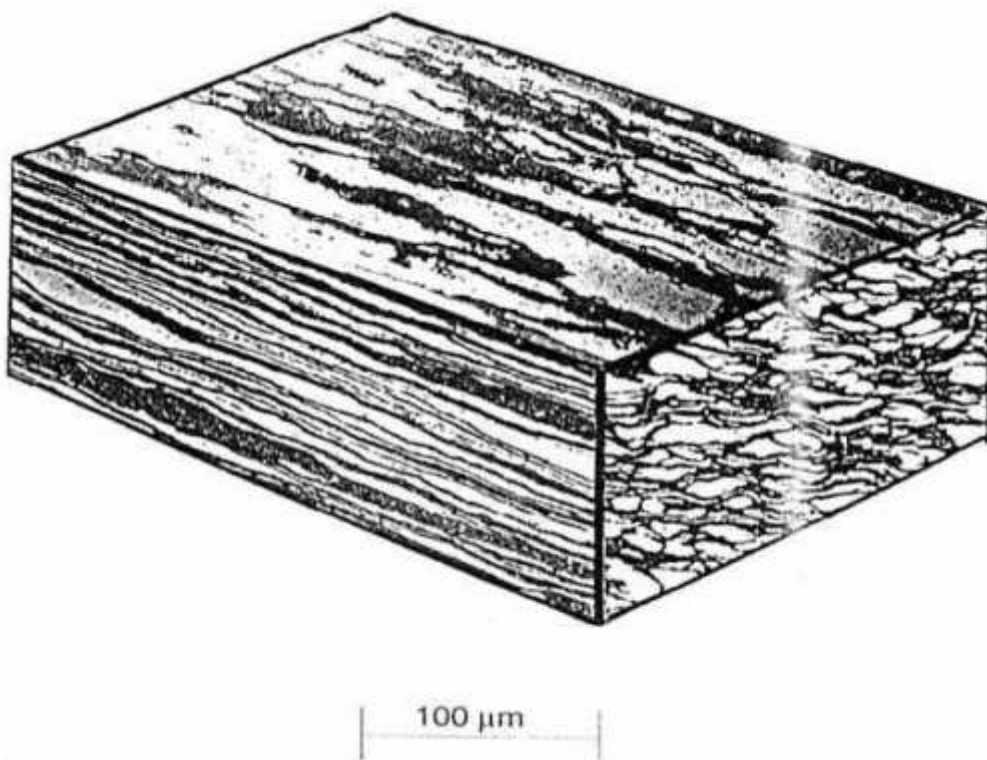
Pro stanovení svařitelnosti ocelí je nutno použít skupinu vhodně zvolených zkoušek, které stanoví vlastnosti svarového spoje podle určitých již známých ukazatelů svařitelnosti. Pro spolehlivý provoz svarového spoje je nutno znát jisté provozní ukazatele, které vyjadřují vliv pracovního prostředí a způsob namáhání svarového spoje. Technologie výroby podstatně ovlivňuje nejenom mechanické a fyzikální vlastnosti spoje, ale také výši tahových vnitřních napětí po svařování. Technologický proces je určován způsobem svařování, svařovanými materiály a jejich úkosity, přídavnými materiály, tepelným příkonem, postupem svařování, přehřevem, ohřevem, mezihousenkovou teplotou a tepelným zpracováním po svařování [4].

Svařitelnost určité skupiny materiálů vykazuje tím lepší stupeň svařitelnosti, čím méně činitelů podmiňujících technologii svařování, při určité konstrukci, musí být bráno v úvahu [3].

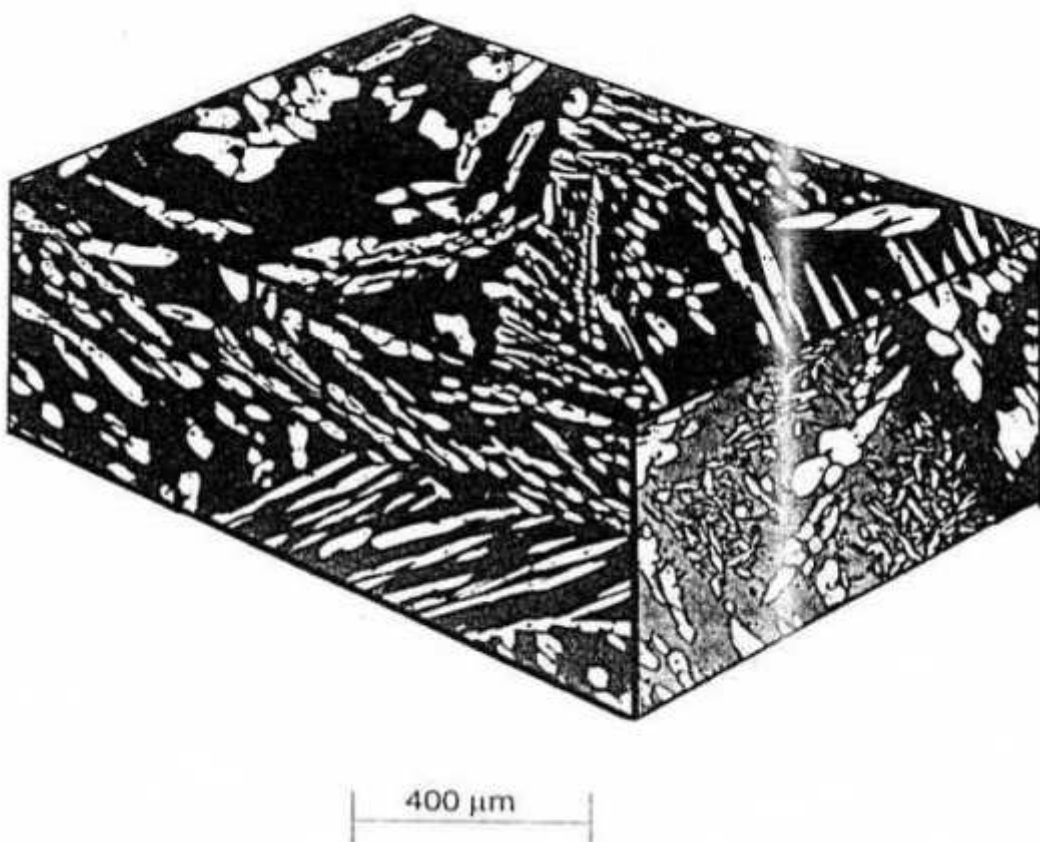
## 2.2 Duplexní oceli

První zmínka o těchto ocelích, též nazývaných jako austeniticko-feritické, se objevuje v roce 1927, kdy pánové Bain a Griffith zveřejňují první informace o austeniticko – feritických strukturách. Během několika následujících let se objevují společnosti ve Francii, Německu, Švédsku a USA, které tyto materiály zkoumají v lité formě. První komerční využití se objevují okolo roku 1929 [1].

Chemické složení duplexních ocelí je vyváženo tak, aby zajistilo strukturu s přibližně stejným množstvím austenitu a feritu. Duplexní oceli nejprve tuhnou kompletně ve feritické fázi. Následuje fázová transformace, při níž vzniká primární a sekundární austenit. Tato změna je samozřejmě vratná, takže pokud se duplexní oceli vystaví teplotám mezi 1050°C a 1300°C, může se znovu zvýšit obsah feritu. Duplexní oceli se vyznačují strukturou, dávající vyšší pevnost, vysokou korozní odolnost a velice dobrou odolnost proti napětíové korozi. Množství austenitu je silně závislé na chemickém složení a rychlosti ochlazování, jelikož ochlazení může být velice rychlé a následkem toho je pak málo času pro tvorbu austenitu. Duplexní oceli se obvykle tepelně nezpracovávají, jelikož při tepelném zpracování mohou nastat četné změny struktury. Z obrázků 2.1 a 2.2 je patrná struktura duplexních ocelí. Obsah feritu je obvykle mezi 20 a 70%. Aby se zajistila vyvážená struktura, jsou materiály legovány niklem, kterým se austenit stabilizuje. Dalším významným stabilizujícím prvkem je dusík [1], [2] .



Obr. 2.1 Typická struktura duplexní oceli válcované za tepla [1]



Obr. 2.2 Typická struktura duplexní oceli v litém stavu [1]

V tabulce 2.1 je uvedeno doporučené tepelné zpracování pro vybrané oceli, které je v nutných případech možné. Při jiných než uvedených teplotách dochází k žíhání, které sníží pevnost a redukuje korozní odolnost, čemuž se musí předejít [2].

Označení oceli (dle ASTM)	S32304	S31803	S32750
Tváření za tepla [°C]	900-1100	950-1050	1025-1200
Rozpouštěcí žíhání [°C]	950-1050	1020-1100	1040-1120
Žíhání na snížení pnutí [°C]	950-1050	1020-1100	1040-1120

Tab. 2.1 Doporučené tepelné zpracování [2]

Mezi další vlastnosti duplexních ocelí patří schopnost pasivace a setrvání v pasivovaném stavu. Další charakteristikou je vysoká pevnost v tahu, což znamená velice dobrou odolnost proti únavě, na druhou stranu tahové vlastnosti svarových spojů jsou o něco horší, než u základních materiálů. Dostatečně vysoká pevnost také zaručuje odolnost proti napětové korozi. Nezpochybnitelný vliv na vlastnosti svarových spojů má samozřejmě použitá technologie svařování. Např. svar provedený metodou 141 (TIG) má podstatně lepší vlastnosti než svar provedený metodou 111 (ruční svařování obalenou elektrodou, dle amerických norem označováno jako SMAW). Jelikož mají duplexní oceli nižší pevnost než oceli austenitické, nejsou použitelné při teplotách pod -40°C [1], [2].

Tepelná vodivost duplexních ocelí je stejná jako u austenitických ocelí a asi o 40% nižší než u feritických. Na druhou stranu koeficienty roztažnosti jsou asi o 30% menší než u austenitických ocelí a o něco větší než u feritických. Jsou jen o málo vyšší než u uhlíkových ocelí. Deformace během svařování se projevují méně než u svařování austenitických ocelí, což ovšem neumožňuje zjednodušení procesu stehování [1], [2].

Duplexní oceli jsou stále více používány jako alternativa k austenitickým, feritickým korozivzdorným ocelím a slitinám niklu. Představují atraktivní kombinaci mechanických vlastností a odolnosti proti korozi. Rovnováha těchto vlastností se může svařováním narušit. Obecně lze říci, že svarový kov a tepelně ovlivněná oblast vykazuje zvýšený obsah feritu, což může zapříčinit nižší korozní odolnost a také horší mechanické vlastnosti, jako je zejména tvárnost nebo houževnatost [1], [2].

## 2.3 Vhodné metody svařování pro opravu odlitků z duplexních ocelí

Korozivzdorné oceli s dvojfázovou austeniticko-feritickou strukturou jsou odolné proti vzniku trhlin při svařování. Svařují se bez předehřevu. Svařovací parametry by se měly pravidelně kontrolovat pro dosažení optimální rychlosti ochlazování (dostatečně pomalého pro vznik austenitu). Mikrostruktura svarového materiálu se liší od základního materiálu, jako výsledek odlišných složení [1], [2].

Pro svařování duplexních ocelí lze použít všechny konvenční metody, jako třeba 111 (ROS), 131/135 (MIG/MAG), 141 (TIG), 15, 52 atd. Svařování bez přídavného materiálu je povoleno jen tam, kde je možné výše zmíněné tepelné zpracování. Pokud tomu tak není, je tu velké riziko zvýšeného obsahu feritu ve svarové lázni během tohoto druhu svařování [2].

111 – metoda výhodná při pozicovém, jednostranném svařování a svařování s omezeným přístupem. Používá se krátký oblouk, čímž dostaneme výbornou stabilitu a snížíme riziko zvyšování obsahu dusíku, který může později zapříčinit vznik pórů a zvyšování povrchové oxidace [2].

131/135 – metoda pro svařování plechů až 6 mm tlustých. Obvykle se svařuje z obou stran. Tenký materiál (do 4 mm) může být svařován jednostranně. Protože je svarová lázeň rozsáhlá, je vcelku omezené svařování v polohách. Metoda 131 je zvláště vhodná pro automatizovanou výrobu [2].

141 – je obvykle použita pro tenké díly (do 4 mm). Vhodná pro svařování potrubí, dále pro svařování kořenových housenek, přičemž pozdější housenky mohou být navařeny metodou s vyšším výkonem [2].

V rámci firmy MSA a.s. Dolní Benešov přicházely v úvahu metody 131, 111 a 121 (automat pod tavidlem). Vzhledem k různorodosti oprav odlitků, nízké ekonomické náročnosti a zavedenému systému ručního obloukového svařování obalenou elektrodou se jevila tato metoda jako nejvhodnější.

## 2.4 Ochranné plyny používané pro svařování duplexních ocelí

Při svařování metodou 131 je možno použít obvyklé ochranné plyny pro korozivzdorné oceli. Argon s obsahem 2% O<sub>2</sub> nebo 2-3% CO<sub>2</sub>. Oba tyto plyny stabilizují oblouk. Při pulzním svařování je vhodné použít 4-složkový plyn (Ar + 30% He + 2.5% CO<sub>2</sub> + 0.03% NO). Stabilita oblouku značně kolísá při různých typech oblouku, druhu ocelí a různých svařovacích strojích [2].

U metody 141 se jako ochranný plyn používá čistý argon, helium nebo jejich směsi. Odolnost proti důlkové korozi může být zvýšena přidáním 2% dusíku, tuto hranici ale nesmíme překročit. Přidáním zhruba 30% helia se zvýší energie oblouku a to způsobí značné zvýšení svařovací rychlosti. Při svařování duplexních ocelí se nedoporučuje přidávání vodíku, které v kombinaci s obsahem feritu kolem 70%, může způsobit zkřehnutí. Jednostranné kořenové housenky musí být svařovány s ochranným plynem ze strany kořene. Tato ochrana kořene by měla být také použita při stehování [2].

## 2.5 Příprava svarových ploch

Při svařování korozivzdorných ocelí je nutná pečlivá příprava svarových ploch a správná volba typu svaru. A to platí zvláště pro duplexní oceli. Kvůli nízké schopnosti promíšení a prohřátí svarové lázně je nutné zvolit správně navrženou svarovou úpravu, která zajistí svarový spoj bez neprůvarů, studených spojů a jiných vad [2].

Hlavní doporučení [2]:

- X-svar může být použit pro tloušťky od 15 mm,
- U-svar je vhodný pro tloušťky od 30 mm,
- pro kořenovou mezeru se doporučuje 2-3 mm při použití jednostranného svařování, při použití keramického podkladu je to 4-6 mm.

## **2.6 Očištění svarových ploch před svařováním**

Pro zajištění dobré svařitelnosti a snížení potřeby očištění po svařování je nutné očistit všechny svarové plochy a přilehlé oblasti před samotným svařováním. Nečistoty, olej, zbytky tuků musí být odstraněny. Všechny ostré hrany je třeba kompletně odstranit jemným broušením. Všechny oxidy, barvy musí být odstraněny ze svarových ploch a ploch okolních do vzdálenosti min. 50 mm. Pro zajištění nejvyšší možné korozní odolnosti musí být povrch materiálu absolutně čistý [1], [2].

## **2.7 Předehřev**

Duplexní oceli se svařují bez předehřevu. Svařování se provádí při teplotě okolí. Při nižších teplotách se může předehřívát maximálně na 50°C. Při svařování odlitků se používá předehřev maximálně 150°C. Toto platí částečně i pro ty druhy svařování, kde je vnesené teplo max. 0.5 kJ.mm<sup>-1</sup>. V takových případech se použijí elektrické odporové dečky nebo podobná zařízení [1], [2].

## **2.8 Mezihousenková teplota**

Doporučená mezihousenková teplota pro ocel typu S31803 je těsně pod 200°C. Tepelná vodivost je stejná jako u austenitických korozivzdorných ocelí, o něco nižší, než u nízkolegovaných a uhlíkových ocelí. To znamená, že trvá o něco déle, než dosáhneme požadované mezihousenkové teploty. Ochlazování může být také urychleno přerušením svařování nebo uváženou volbou správného postupu svařování (kladení housenek). Mezihousenková teplota musí být pravidelně měřena [2].

## 2.9 Vnesené teplo

Bez negativních vlivů na mikrostrukturu a vlastnosti se může ocel typu S31803 svařovat při použití relativně vysokého tepelného příkonu až  $3 \text{ kJ.mm}^{-1}$ . Limitujícími faktory jsou hlavně použita metoda svařování a velikost svarové lázně. Duplexní oceli by neměly být svařovány s příliš nízkým tepelným výkonem. Rychlost ochlazování pak může být příliš vysoká, čímž může dojít k zvýšení obsahu feritu nad 70%. To zvláště platí při svařování tenkých součástí. Teoretické minimum je  $0.5 \text{ kJ.mm}^{-1}$  pro ocel S31803. Samozřejmě je vždy žádoucí optimalizovat produktivitu zvyšováním svařovacích parametrů, ale tepelný výkon by neměl nikdy překročit doporučené hodnoty [2].

Vzorec pro výpočet tepelného příkonu [2]:

$$Q = \frac{U \times I}{v \times 1000} \text{ [kJ.mm}^{-1}\text{]} \quad (2.1)$$

## 2.10 Stehování

Jelikož při svařování může dojít k deformacím svaru, je nutné velice přesně stehovat. Pro tloušťky materiálu do 6 mm je doporučená délka stehové housenky asi 10-15 mm. Pro tlustší součásti je to 20-25 mm. Mezery mezi stehy by měly být 150-200 mm. Při jednostranném svařování je nutné přebrousit všechny stehy. Při oboustranném svařování stačí přebrousit jen začátek a konec stehu [2].

## 2.11 Zapálení a zhasnutí oblouku

Stejně jako metalurgické, mechanické a korozní vlastnosti, je také velice důležité správně zapálit a zhasnout svařovací oblouk. U svařování obalenou elektrodou musí být oblouk zhasnut nejprve pomocí několika opatrných kruhovitých pohybů ve svarové lázni. Pak je elektroda pomalu vrácena 10 mm svarovou lázní a pak je opatrně vyjmuta. Pokud je to provedeno příliš rychle, může dojít ke vzniku kráterů a struskových vměstků. Moderní zdroje pro metody 131 a 141 mají funkci plnění kráterů, což umožňuje hladké ukončení svaru [2].



## 2.12 Obecný návrh provedení svarového spoje

Při svařování používáme přídavné materiály, které svým chemickým složením odpovídají základnímu materiálu a v případě svařování duplexních ocelí ještě přelegované niklem, který má za úkol snížit obsah feritu ve svarovém kovu na hranici odpovídající základnímu materiálu i při velkých rychlostech ochlazování svarového kovu [1], [2].

Výplňové housenky musí být nanесeny co největší rychlostí v rozsahu povolených parametrů svařování tak, aby bylo dosaženo požadovaných mechanických a strukturních vlastností. Pro svařování výplňových housenek můžeme zvolit např. tyto způsoby:

- a) pro svařování kořene použijeme metodu 141 a pro výplň pak už metody 111, 121, 131
- b) pro svařování kořene použijeme metodu 111 a pro výplň metody 114 nebo 121, 135

Mezi vrstvami je nutná vizuální kontrola. Před nanесením další housenky se musí vždy odstranit zbytky strusky a oxidů např. broušením nebo kartáčováním. Veškeré použité nářadí musí být určeno pro austenitické materiály. Pro vyhnutí se případnému poškození okolních ploch, je nutné čištění provádět s velikou opatrností [2].

Krycí housenka je primárně určena k ochraně svaru před korozí. Proto zde hrají kritickou roli struktura, povrch a geometrie. V neposlední řadě je také velice důležitý vzhled [2].

## **2.13 Tepelné zpracování po svařování**

Jak je zmíněno výše, u duplexních ocelí se obvykle neaplikuje tepelné zpracování po svařování. V některých situacích ovšem může být nezbytné podrobit výrobek rozpouštěcímu žíhání nebo žíhání pro snížení vnitřních pnutí [2].

Tepelné zpracování duplexních ocelí vyžaduje precizní kontrolu časů a teplot. Musí být prováděna kvalifikovaným personálem, který používá vhodné vybavení. Odlitky by měly být tepelně zpracovány po rozsáhlejších opravách svařováním, např. velké trhliny, dutiny. Není doporučeno tepelně zpracovávat odlitky po méně významných opravách, jediné po domluvě mezi výrobcem a zákazníkem [1], [2].

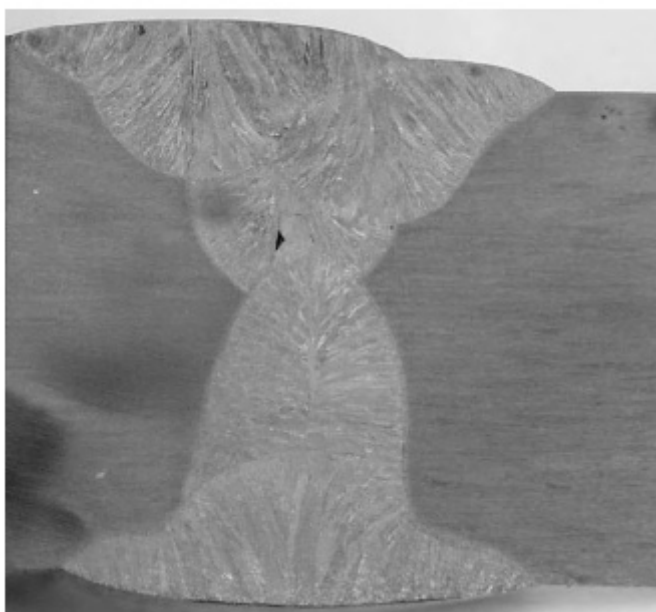
Pokud je nutné tepelné zpracování, musí se provést při teplotách uvedených v tab. 2.1. Duplexní oceli při vysokých teplotách podstatně změknou, což musíme brát na vědomí při manipulaci a ustavování před tepelným zpracováním. Protože duplexní oceli tuhnou jako oceli feritické, nejsou náchylné na vznik teplých trhlin [2].

## **2.14 Čištění po svařování**

Čištění po svařování je velice důležité pro dosažení plně uspokojivé korozivzdornosti. Je to základní část celé svařovací procedury korozivzdorných ocelí. Metoda a rozsah čištění je definován na základě požadavků důležitých pro korozní odolnost, hygienu a vzhled. Vady, svarové oxidy, vměstky musí být odstraněny z místa svaru. To může být provedeno mechanicky (broušení, leštění atd.) nebo chemicky (moření). Po broušení musí vždy následovat leštění, kvůli vysoké pravděpodobnosti vzniku prasklin při samotném broušení [2].

## 2.15 Vady svarových spojů duplexních ocelí

Duplexní oceli nejsou náchylné k vadám o nic víc, než ostatní korozivzdorné oceli, ale např. v porovnání s austenitickými ocelmi je zde vyšší náchylnost ke vzniku pórů a teplých trhlin. Proto se musí striktně dodržovat doporučené svařovací parametry a rozměry kořenových housenek. Např. na obrázku 2.3 můžeme vidět vměstek, jako pozůstatek strusky [2], [6].



Obr. 2.3      Příklad vměstku v místě svaru      [2]

## **2.16 Opravy odlitků svařováním**

Malé vady (kapky, struska, ostrůvky oxidů) mohou být opraveny broušením a následným leštěním. Větší vady a plošné vady vyžadují broušení s hrubším kotoučem, po odstranění vady se většinou k opravě používá ruční svařování obalenou elektrodou. Opravy svařováním mohou být provedeny 5krát bez negativního účinku na základní materiál. Opravy svařováním se rozdělují na významné a méně významné. Významné jsou takové, kdy odlitek nevyhověl při tlakových zkouškách, dále pokud je hloubka vady po přípravě na opravu větší než 20% aktuální tloušťky stěny, nebo když je plocha vady větší než 65 cm<sup>2</sup>. Všechny ostatní opravy se klasifikují jako méně významné [2].

## **2.17 Zkoušení a záruky kvality**

Duplexní oceli jsou používány v oblastech náročných na pevnost a korozní odolnost. Pro zajištění odolnosti musí být odstraněny všechny nečistoty, zbytky strusky a stopy po broušení atd. Nedílnou součástí zjišťování kvality duplexních ocelí jsou nedestruktivní zkoušky, jako například vizuální kontrola (VT), penetrační zkouška (PT), radiografická zkouška (RT), ultrazvuková zkouška (UT), zjišťování obsahu feritu za pomoci tzv. feritoskopu a dále pak destruktivní zkoušky (příčná zkouška tahem, příčná zkouška lámavosti, zkouška rázem v ohybu, měření tvrdosti atd.) [2].

## **2.18 Manipulace a skladování přídavných materiálů**

Obalené elektrody, tavidla atd. by měly být skladovány v originálních neporušených obalech. Skladování v porušených obalech může znamenat nižší životnost přídavných materiálů. Neměly by být skladovány déle než 5 let, neměly by být v kontaktu se studenou podlahou nebo vnějšími zdmi. Skladovací teplota by neměla klesnout pod 15°C a vlhkost by se měla pohybovat okolo 50%. Před použitím by měly být elektrody a tavidla přesušeny dle doporučení výrobce, pokud není výrobcem stanoveno jinak. Po přesušení by se elektrody měly dodatečně umístit do ohřívačů a udržovat při teplotě 60-70°C s vlhkostí nepřesahující 50%. To platí i pro tavidla [2].

## 2.19 Korozní vlastnosti

Duplexní oceli mají vysokou korozní odolnost v mnoha prostředích a to díky vysokému obsahu chromu. Mezikrystalová koroze je vzhledem k nízkému obsahu uhlíku málokdy problémem. Korozivzdornost se zvyšuje se zvyšujícím se obsahem chromu, niklu a dusíku. U svarových spojů je však nižší, než odolnost základního materiálu, což je především způsobeno teplotním cyklem při svařování a tepelně ovlivněnou oblastí (ve které mohou nastat během svařování značné metalurgické změny), dále povrchovou úpravou, nečistotami a vadami vzniklými při svařování. Po svařování musí být svar a tepelně ovlivněná oblast mořena nebo mechanicky opracována [1], [2].

### Plošná koroze

Míra koroze svarových spojů, vystavených směsi 50% kyseliny octové a 10% kyseliny mravenčí za tepla, je stejná jako u základních materiálů z duplexních ocelí. Podobné výsledky jsou i pro zkoušky za tepla v 65% kyselině dusičné. V tomto mediu je plošná korozní odolnost svařenců nižší v porovnání se základním materiálem [1], [2].

### Důlková koroze

Podíl důlkové koroze vzrůstá a kritická teplota klesá se snižováním tepelného příkonu, tj. vysoké rychlosti ochlazování. Při středních ochlazovacích rychlostech dochází mezi austenitem a feritem k rozpouštění prvků ve svarovém kovu. Je doporučeno použití superduplexních přídatných materiálů pro svařování 22%Cr ocelí [1], [2].

### Korozní praskání

Duplexní oceli jsou často voleny kvůli jejich odolnosti proti koroznímu praskání. Svařence z duplexních ocelí s obvyklým obsahem feritu mají podobnou odolnost proti koroznímu praskání jako základní materiál. Svařované materiály obsahující vysoké procento austenitu, jsou více citlivé na korozní praskání zapříčiněné chlorem, než materiály s obvyklým obsahem austenitu. Na vznik teplé trhliny má velký vliv obsah feritu. Během svařování mají vznikající metalurgické změny snižující efekt na odolnost proti praskání [1], [2].

## 2.20 Duplexní ocel A 890 Gr. 4A (S31803)

Byla vyvinuta v 70. letech 20. století v Německu a Švédsku. Není náchylná ke vzniku interkrystalické koroze během svařování a to díky vyváženému chemickému složení. Vzhledem k výborným korozním vlastnostem je vhodná pro prostředí chloridů a sirovodíků. Použití na potrubí pro extrakci nafty a plynu z vrtů, v rafineriích a v procesech s roztoky obsahujícími chloridy. Je zvláště vhodná pro výměníky chlazené brakickou vodou. Vhodná též pro použití ve zředěné kyselině sírové a v organických kyselinách, především v kyselině octové. Vysoká pevnost ji činí atraktivní (ve srovnání s austenitickými oceli) pro vysoká zatížení. Její označení dle EN je 1.4462 a dle ASTM je to S31803. V tab. 2.2 je uvedeno chemické složení a v tab. 2.3 mechanické vlastnosti této oceli [1].

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
max. 0.03	max. 1.00	max. 2.00	max. 0.035	max. 0.015	max. 23.0	max. 6.5	max. 3.5	max. 0.22

Tab. 2.2 Chemické složení v % (příloha 1)

$R_{p0.2}$ [MPa]	415
$R_m$ [MPa]	620
Tažnost A [%]	25
Nárazová práce při 20°C [J]	261.7

Tab. 2.3 Mechanické vlastnosti (příloha 1)

### 3 Návrh a volba technologie svařování

#### 3.1 Volba technologie svařování

Pro opravu vadných odlitků je třeba zvolit vhodnou metodu svařování. Mezi metody, které připadají v úvahu patří zejména ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (111), metoda svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu (141) a v neposlední řadě metoda svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (131).

Ve společnosti MSA a.s. Dolní Benešov se jevila jako nejvhodnější metoda ručního obloukového svařování obalenou elektrodou (111) a to hlavně z ekonomických a časových důvodů, jelikož to je metoda vhodná pro obtížně mechanizovatelné svařování, což oprava vad odlitků určitě je.

Parametry vhodné pro ruční obloukové svařování obalenou elektrodou [4]:

Polohy svařování:	všechny polohy, omezení pouze druhem elektrody
Druhy základního materiálu:	nelegované, nízkolegované, vysokolegované oceli, Ni, Cu, Al
Tloušťka základního materiálu:	2 až 100 mm
Svařovací proud:	50 až 450 A
Napětí na oblouku:	15 až 40 V
Druh svařovacího proudu:	stejnoseměrný, střídavý
Statická charakteristika:	strmá

### 3.2 Volba vhodné elektrody

Pro svařování duplexních ocelí jsou přídavné materiály přelegovány 2-4% Ni, aby se tak podpořil vznik austenitu ve svarovém kovu, čímž se udržuje vyvážení fází. Elektrody musí být také dostatečně vysušené (zbavené vodíku), aby nedocházelo ke vzniku prasklin v místě svaru. Pro opravu odlitků z duplexních ocelí ve společnosti MSA a.s. Dolní Benešov byla zvolena elektroda OK 67.50 firmy Esab (E 22 9 3 N L R 3 2 dle EN 1600, E2209-17 dle AWS A5.4), což je rutilová elektroda vhodná pro svařování austeniticko-feritických ocelí včetně S31803. Jako alternativu lze použít elektrodu 22.9.3.LR od výrobce Sandvik.

C	Si	Mn	Cu	Cr	Ni	Mo	N
max. 0.03	0.75	0.9	max. 0.3	22.5	9.5	3	0.16

Tab. 3.1 Chemické složení přídavného materiálu v % [7]

R <sub>e</sub> [MPa]	660
R <sub>m</sub> [MPa]	857
Tažnost A [%]	25
Nárazová práce při 20°C [J]	50

Tab. 3.2 Mechanické vlastnosti čistého svarového kovu [7]

Průměr [mm]	2.5	3.2	4
Délka [mm]	300	350	350
Napětí na oblouku [V]	27	28	29
Svařovací proud [A]	50-90	80-120	100-160
Množství svar. kovu kg/kg elektrod	0.58	0.58	0.58
Počet elektrod/kg svarového kovu	91	47	32

Tab. 3.3 Doporučené parametry použitých elektrod [7]



### 3.3 Volba parametrů

Parametry jsou voleny na základě svařitelnosti duplexních ocelí A 890 Gr. 4A, možností společnosti MSA a.s. Dolní Benešov a doporučených svařovacích parametrů použité elektrody OK 67.50 (ESAB). Tyto parametry jsou uvedeny ve formě WPS v příloze 2.

### 3.4 Rámcový technologický postup svařování pro zkušební desky

1. Sestavení desek do pozice pro svařování.
2. Zajištění vzájemné polohy svařením s přídavnými deskami.
3. Svařování desek – zavaření kořene a následné kladení výplňových housenek.  
Po každém zavaření housenky přebrousit, očistit za pomoci náradí vhodného pro opracování duplexních ocelí. Kontrolovat mezihousenkovou teplotu. V případě jejího překročení pozastavit svařování. Svařovací parametry pravidelně zapisovat do protokolu. Svarový spoj ukončit s mírným převýšením a plynulým přechodem do základního materiálu (parametry viz. Příloha 2).
4. Svar nakonec přebrousit do čistého kovu.

#### 4 Provedení zkušebních svarů dle navrženého postupu svařování

Dle výše uvedeného technologického postupu svařování bylo provedeno zkušební svařování dvou desek z duplexní oceli A890 Gr. 4A. Zápis z tohoto svařování je uveden v příloze 3, kde jsou popsány jednotlivé parametry vlastního svařování včetně rychlostí a mezihouseňkové teploty. Ze svařence uvedeného na obrázku 4.2 byly následně odebrány vzorky pro jednotlivé zkoušky.



Obr. 4.1      Nastehované desky pro zkušební svar



Obr. 4.2 Svařené desky

## **5 Vyhodnocení vlastností svarových spojů**

Provedeno dle ASME CODE Sect. IX, edition 2007, addenda July 2008 [8].

### **5.1 Zkouška prozářením**

Zkouška byla provedena a hodnocena dle ASME IX QW 191 ve společnosti MSA a.s. Dolní Benešov v defektoskopickém středisku. Zkoušce byla podrobena svařená deska o tloušťce 43 mm z oceli A 890 Gr. 4A. Výsledek je vyhovující.

### **5.2 Zkouška kapilární**

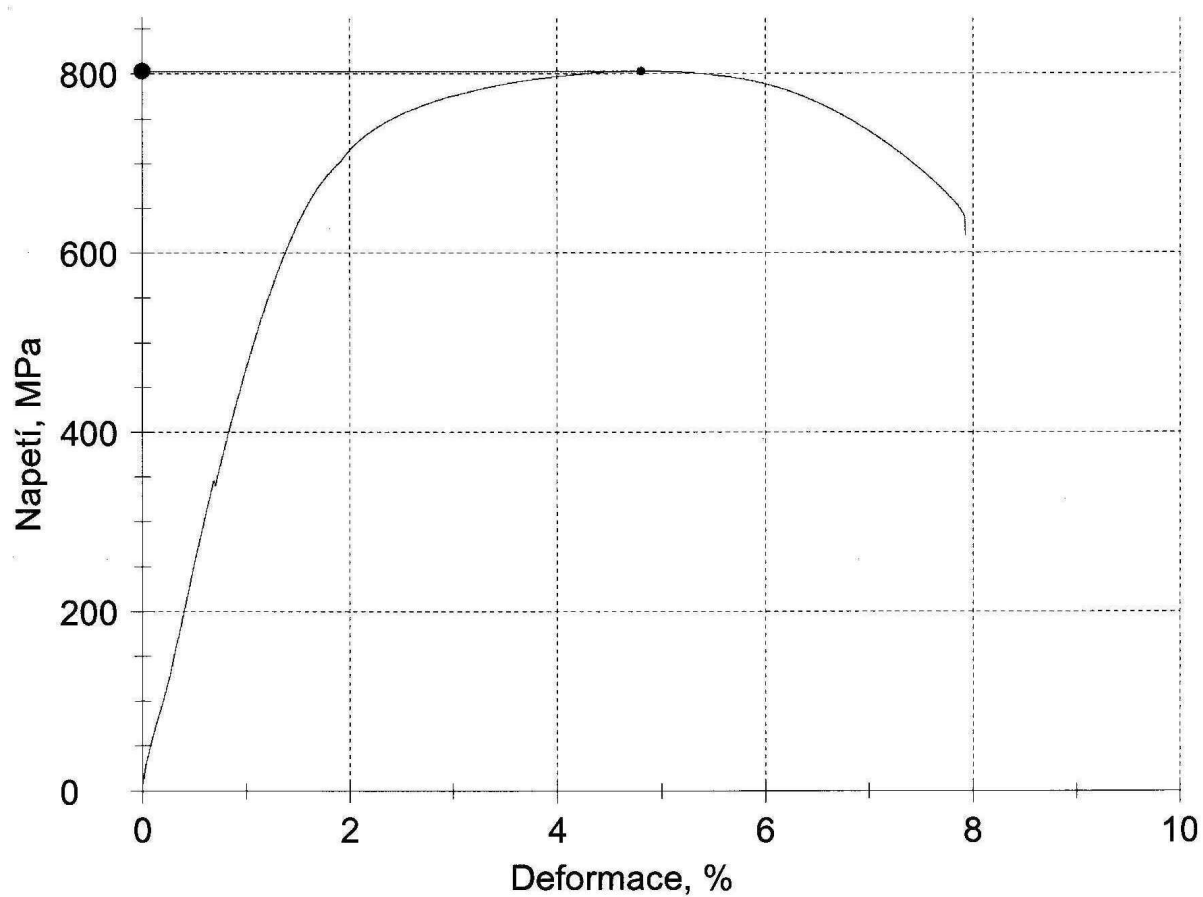
Zkouška byla provedena a hodnocena dle ASME IX QW 195 ve společnosti MSA a.s. Dolní Benešov v defektoskopickém středisku. Pro detekování vad byly použity kapaliny MR311, MR79, MR70 při osvětlení 1000 Lx. Svařenec byl bez vad.

### 5.3 Zkouška tahem

Zkouška byla provedena dle normy ASTM A370 [9] na stroji Zwick/Roell Zmart.Pro při teplotě 20 °C. V tabulce 5.1 jsou uvedeny výsledky zkoušky.

Č. zkoušky	Tloušťka mm	Šířka mm	Průřez mm <sup>2</sup>	F <sub>max</sub> kN	R <sub>m</sub> Mpa
0349-11	40.2	19.1	767.8	613	798
0349-12	40.2	19.2	771.8	620	803

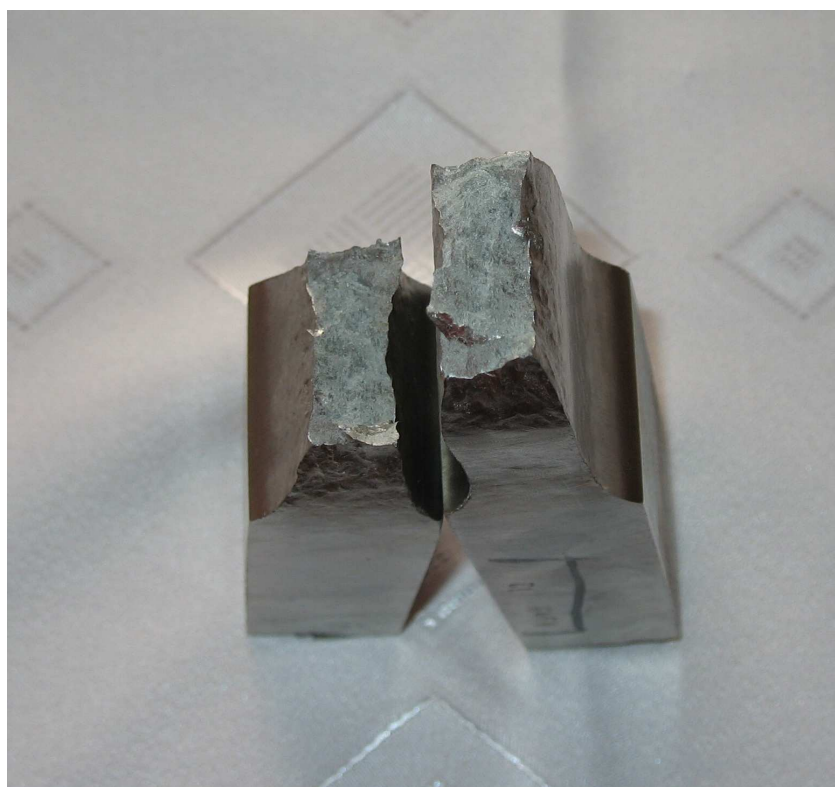
Tab. 5.1 Výsledky zkoušky



Obr. 5.1 Diagram tahové zkoušky



Obr. 5.2 Místo přerušení



Obr. 5.3 Místo přerušení

## 5.4 Zkouška lámavosti

Zkouška byla provedena dle normy ASTM A370 [9] při teplotě 20 °C. V tabulce 5.2 jsou uvedeny výsledky zkoušky.

Č. zkoušky	Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	Výsledek
0349-13	10	40	150	vyhovující
0349-14	10	40	150	vyhovující
0349-15	10	40	150	vyhovující
0349-16	10	40	150	vyhovující

Tab. 5.2      Výsledky zkoušky



Obr. 5.4      Místo ohybu

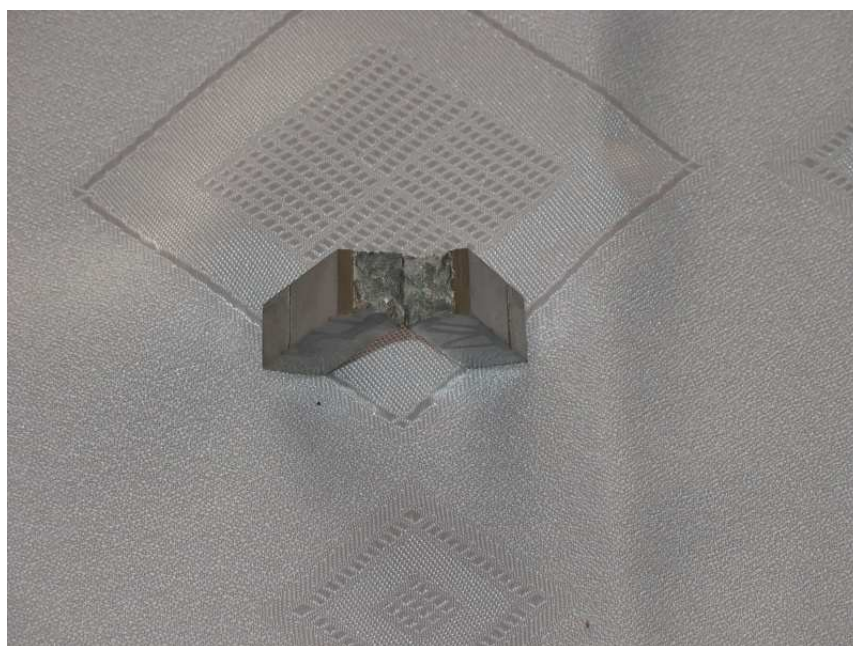


## 5.5 Zkouška rázem v ohybu

Zkouška byla provedena dle normy ASTM E23 [10] na stroji Amsler RKP 300 při teplotě 20 °C, přičemž požadované minimum bylo 27 J. Na vzorcích byl vrub typu V. V tabulce 5.3 jsou uvedeny výsledky zkoušky.

Č. zkoušky	Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	Nárazová práce J	Prům. hodnota J
0349-TH	10	10	55	48, 48, 46	47.3
0349-TS	10	10	55	39, 127, 60	75.3
0349-KH	10	10	55	45, 46, 50	47
0349-KS	10	10	55	35, 36, 42	37.6

Tab. 5.3 Výsledky zkoušky



Obr. 5.5 Místo lomu

## 5.6 Metalografické zkoušení

### Stanovení podílu $\delta$ -feritu

Stanovení podílu  $\delta$ -feritu bylo provedeno dle ASTM E562 [11] pomocí obrazového analyzátoru LECO IA 32, při zvětšení 500x (svarový kov) a 100x (TOO). Celkový počet polí byl pro každou oblast 5. Plocha jednoho pole ve svarovém kovu byla  $0.0905 \text{ mm}^2$ , celková plocha polí činila  $0.453 \text{ mm}^2$ . Plocha jednoho pole v TOO byla  $2.3 \text{ mm}^2$ , celková plocha polí činila  $11.5 \text{ mm}^2$ . Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulkách 5.4 a 5.5.

0349/M2	svar. kov
Pole	$\delta$ -ferit (%)
1	18.1
2	24.0
3	18.0
4	25.9
5	24.2
Průměr	22.0
Max.	25.9
Min.	18.0
Směr. odchylka	3.73

Tab. 5.4 Výsledky měření

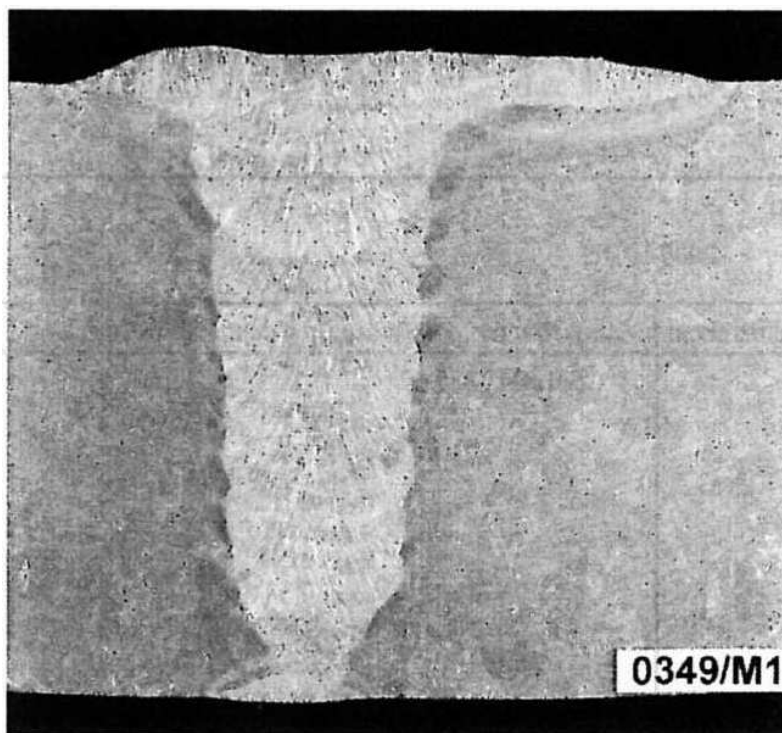
0349/M2	TOO
Pole	$\delta$ -ferit (%)
1	48.7
2	54.9
3	51.0
4	48.9
5	59.2
Průměr	52.5
Max.	59.2
Min.	48.7
Směr. odchylka	4.47

Tab. 5.5 Výsledky měření



### Posouzení makrostruktury

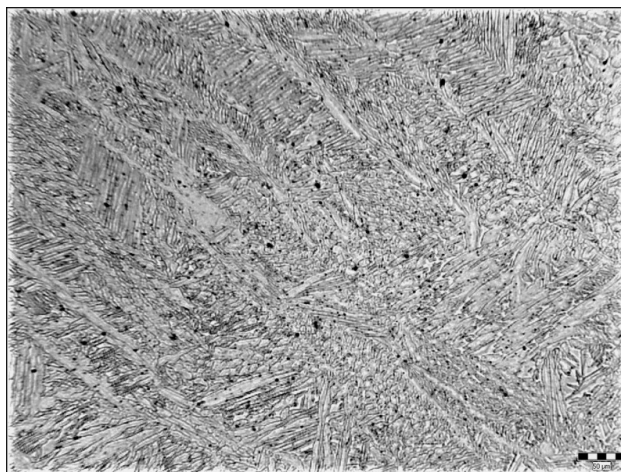
Makrostruktura vzorku vykazuje po elektrolytickém naleptání 5 %  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  dva póry,  $d_1 = 0.2 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 0.1 \text{ mm}$ . Šířka teplem ovlivněné oblasti je maximálně 3.2 mm. Makrostrukturu vzorku zobrazuje při dvojnásobném zvětšení Obr. 6.6.



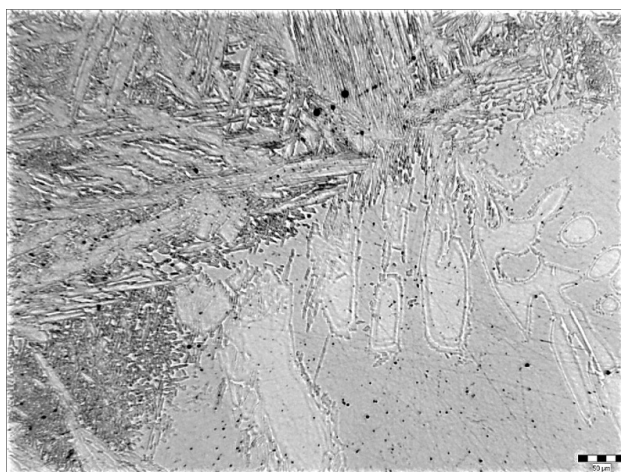
Obr. 5.6 Makrostruktura vzorku (2x)

### Posouzení mikrostruktury

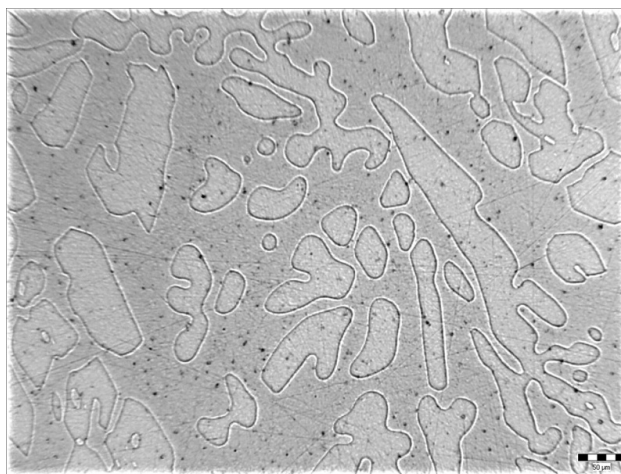
Vzorek byl naleptán 4%  $\text{H}_2\text{CrO}_4$ . Mikrostruktura svarového kovu je licí, tvořená austenitem a  $\delta$ -feritem (Obr. 5.7). Mikrostruktura teplem ovlivněné oblasti u hranice ztavení stejně jako základního materiálu je tvořena austenitem a  $\delta$ -feritem (Obr. 5.8 a Obr. 5.9).



Obr. 5.7 Svarový kov (100x)



Obr. 5.8 Hranice ztavení (100x)



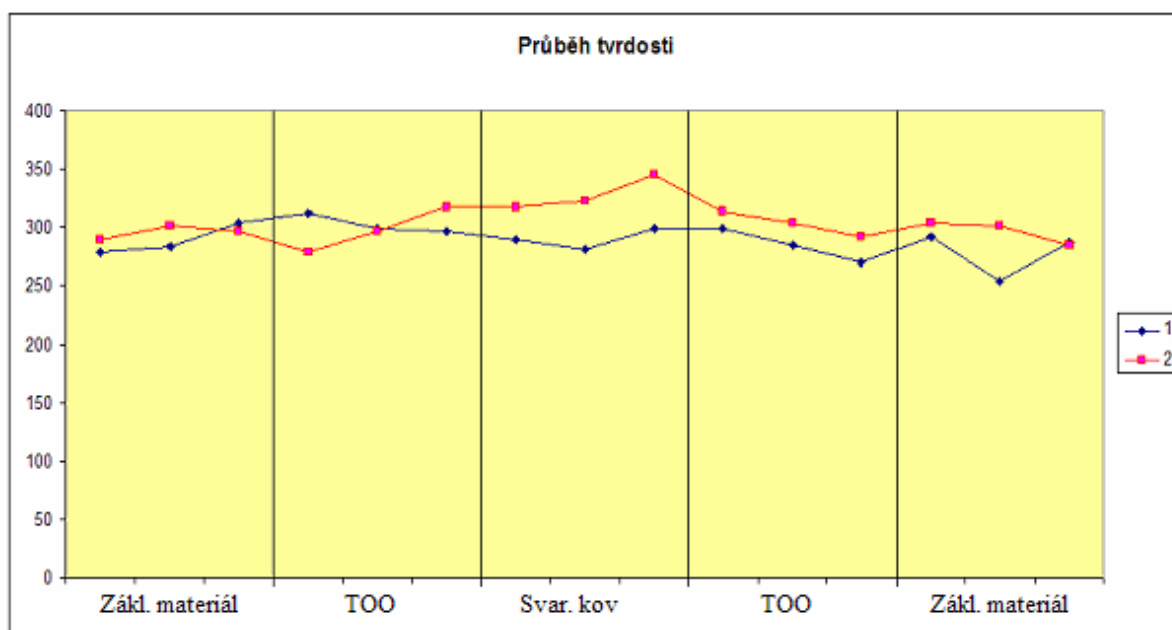
Obr. 5.9 Základní materiál (100x)

## 5.7 Zkouška tvrdosti

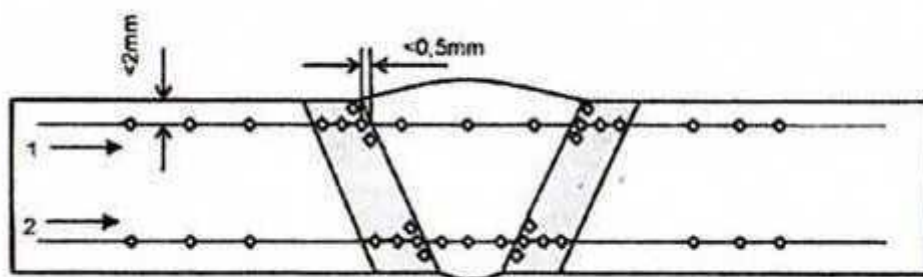
Zkoušení bylo provedeno dle norem ASTM E92 [12]. V tabulce 5.6 jsou zobrazeny naměřené hodnoty tvrdosti HV10.

Tvrdost HV10															
Zákl. materiál						TOO		Svarový kov			TOO		Zákl. materiál		
1 →						285				272					
	279	283	304	312	299	297	289	281	299	299	285	270	292	254	287
						302				289					
2 →						312				314					
	289	302	297	279	297	317	317	322	345	314	304	292	304	302	285
						294				266					

Tab. 5.6 Tvrdost HV10



Graf 5.1 Průběh tvrdosti



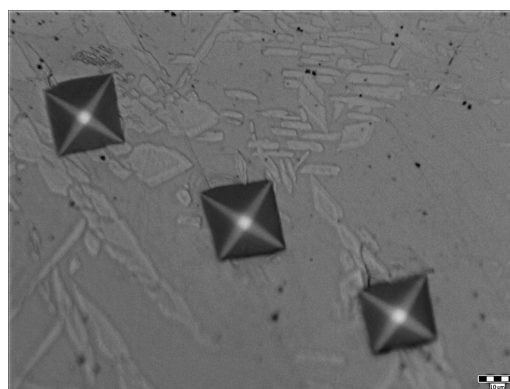
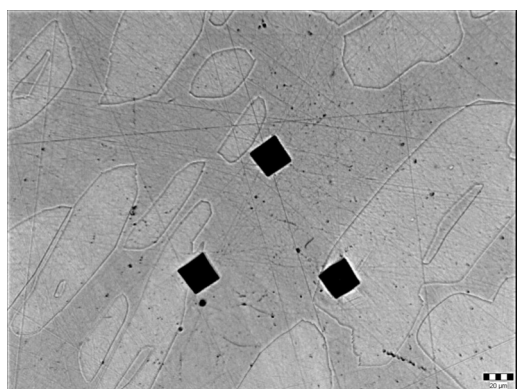
Obr. 5.10 Schéma rozložení vpichů

## 5.8 Zkouška mikrotvrdosti

Měření bylo provedeno Hanemannovým mikrotvrdoměrem při zvětšení 500x. Naměřené hodnoty byly odečteny na monitoru pomocí softwaru QuickPhoto Industrial 2.2. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.7.

	Mikrotvrdost HV0.1		
Základní materiál	246	253	253
Hranice ztavení	292	282	311
Svarový kov	284	267	278

Tab. 5.7 Hodnoty mikrotvrdosti



Obr. 5.11 Rozložení vpichů v základním materiálu a na hranici ztavení

## 6 Vytvoření návrhu PQR

Návrh je vytvořen v souladu s ASME CODE Sect. IX, edition 2007, addenda July 2008 a je obsažen v příloze 4.

## 7 Návrh technologického postupu pro opravu odlitků z duplexních ocelí

### Přídavný svařovací materiál k provádění oprav:

Elektrody dle AWS A5.4: E2209-17 (OK 67.50 – ESAB, Sandvik 22.9.3.LR – SANDVIK)

### Přesušování elektrod:

Elektrody je třeba přesušit režimem 350°C/2 h. Po přesušení musí být elektrody trvale umístěny v sušicích pískách při teplotě 60 - 70°C nebo v hermeticky uzavřených nádobách.

### Kvalifikace svářečů:

Opravu mohou provádět svářeči s příslušnou platnou zkouškou min:

EN 287-1:2004 111 P BW 8 B t13 PA ml

a platnou atestací dle ASME CODE Sect. IX, edition 2007, addenda July 2008.

## TECHNOLOGICKÝ POSTUP PROVEDENÍ OPRAVY

### A. Označení a zaevidování vady

Pracovník OK označí vady a vadná místa na odlitku dle výsledků provedených kontrol (příloha 5).

### B. Odstranění vad

Zjištěné vady je možno odstranit třískovým obráběním, včetně vybroušení nebo vysekání vady. Vady musí být odstraněny beze zbytku.

Pracovník OK na požádání pracovníka svařovny, který vadu odstraňuje, zkontroluje úplnost odstranění vad vhodnou metodou (kapilární zkouškou na výskyt vad, případně vizuální). V případě, že všechny vady jsou zcela odstraněny, dá pokyn k provedení opravy vad svařováním.

### C. Oprava vad

Oprava vad se provádí bez přehřevu a bez tepelného zpracování po opravě vad.

Provést vyplnění místa vady předepsanými elektrodami. Průměr elektrod volit v závislosti na charakteru, rozměrech a umístění vad. Svařování provádět bez rozkyvu. Při svařování jednotlivých vrstev klást vrstvy pokud možno kolmo na sebe. Jednotlivé housenky a vrstvy návaru pečlivě čistit tak, aby byla zajištěna odpovídající kvalita svarového kovu v místě opravy.

Svařované místo zavařit s mírným převýšením a plynulým přechodem do základního materiálu bez vrubů a zápalů (příloha 6). Dodržovat mezihousenkovou teplotu max. 150°C. Mezihousenkovou teplotu kontrolovat termokřídou nebo dotykovým teploměrem. V případě překročení mezihousenkové teploty pozastavit svařování, počkat na pokles teploty. Svařovat v poloze vodorovné shora. Maximální tepelný příkon je 3.0 kJ.mm<sup>-1</sup>.

Doporučený rozsah svařovaných parametrů pro elektrody:

φ 2.5 mm	78 - 80 A	U = 24 - 27 V	v = 5.6 cm.min <sup>-1</sup>
φ 3.2 mm	122 - 125 A	U = 28 - 30 V	v = 17.2 cm.min <sup>-1</sup>
φ 4.0 mm	149 - 151 A	U = 24 - 27 V	v = 18 cm.min <sup>-1</sup>

Proud a napětí měřit klešťovým ampérmetrem přímo na svařovacím kabelu, rychlost pomocí stopek a měření délky housenky posuvným měřidlem.

Po skončení svařování nechá svářeč vybrousit opravovaná místa do čistého kovu.

Přivolat pracovníka OK, který stanoví kontrolní metodu opraveného místa odlitku a zajistí její provedení. Kontrolní metodu stanovit v závislosti na rozsahu kontrolních operací uplatněných v požadavcích na odlitky. Rozsah kontrol a použitých metod nesmí být menší než jejich rozsah uvedený v kupní smlouvě na dodávku odlitků. Pokud bude zjištěna jakákoliv odchylka od předepsaného postupu, přerušit svařování, přivolat mistra a pracovníka OK, kteří zajistí nápravu.

**POZOR!!!** Při opravě se nesmí používat běžné svářečské nářadí!!! Ruční a mechanické kartáče včetně svářečských kladívek a sekáčů musí být nerezové nebo opatřené nerezovým návarem!!! Brusné kotouče speciálně určené pro vysokolegované nerezové materiály se nesmí používat pro broušení běžných uhlíkových materiálů!!!

## **8 Zhodnocení výsledků a možností oprav odlitků svařováním**

Jako nejvýhodnější pro opravu odlitků ve společnosti MSA a.s. Dolní Benešov, byla zvolena technologie ručního obloukového svařování obalenou elektrodou. Tato technologie byla vybrána na základě posouzení svařitelnosti duplexních ocelí a možností dané společnosti. Z desek svařených touto technologií byly odebrány vzorky, které byly podrobeny sérii destruktivních i nedestruktivních zkoušek.

Svarový spoj neobsahoval žádné vady. Při zkoušce tahem došlo k lomu zkušebních těles mimo oblast svaru. Požadovaná minimální mez pevnosti byla 620 MPa. Toto kritérium oba vzorky splnily. Z toho vyplývá, že svarový spoj je vyhovující. Po provedení zkoušky lámavosti opět nebyly nalezeny žádné vady ani trhliny. Dále byla provedena zkouška rázem v ohybu, kdy se všechny naměřené hodnoty nárazové práce pohybovaly nad stanoveným minimem a to 27 J. Následovalo měření tvrdosti a mikrotvrdosti, přičemž naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 5.6 a 5.7. Výsledky tvrdosti jsou vyhovující.

Na základě vyhovujících výsledků lze konstatovat, že tento schválený postup může společnost MSA a.s. Dolní Benešov použít při opravě odlitků z duplexní oceli A 890 Gr. 4A v praxi.

### **Závěr**

První část práce se věnovala svařitelnosti duplexních ocelí. Na základě této teoretické části byla navržena specifikace postupu svařování. Provedení a zkoušení navrženého svarového spoje je uvedeno v kapitole 4 a 5 s vyhodnocením zkušebních vzorků.

Vyhovující výsledky se staly základem k vytvoření návrhu protokolu PQR, který bude sloužit pro opravy odlitků ve společnosti MSA a.s. Dolní Benešov. V návaznosti na tento protokol byl zpracován návrh výsledného technologického postupu opravy odlitků z duplexní oceli A 890 Gr. 4A pro společnost MSA a.s. Dolní Benešov.

Na základě výsledků uvedených v této práci se budou provádět opravy odlitků z duplexní oceli A 890 Gr. 4A.

### **Poděkování**

Zde bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ivo Hlavatému , Ph.D. za čas a cenné rady. Dále pak panu Ing. Břetislavu Binarovi a celé společnosti MSA a.s. Dolní Benešov za poskytnutí podkladů, protokolů, důležitých poznatků a odborných rad z praxe.



## 9 Seznam použitých pramenů

- [1] GUNN, Robert N. *Duplex stainless steels-Microstructure, properties and applications*. Abington publishing. Cambridge England, 1997.
- [2] *How to weld duplex stainless steels*. [online]. Avesta, Švédsko: Avesta Welding AB, 2006. [cit. 2009-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.avestawelding.com/3756.epibrw>>
- [3] KUČERA, J. *Teorie svařování*, VŠB-TUO Ostrava. 1987.
- [4] KUNCIPÁL, J. A KOL. *Teorie svařování*, SNTL Praha 1986.
- [5] KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I.*, VŠB-TUO Ostrava. 2005. 133s. ISBN 80-248-0870-6
- [6] CUNAT, Pierre-Jean. *Svařování korozivzdorných ocelí* [online]. SVV Praha, s.r.o., CZ. První vydání. Brusel, Belgie: Euro Inox, 2007 [cit. 2009-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.euro-inox.org/>>. ISBN 978-2-87997-177-3.
- [7] *Přídavné svařovací materiály* [online]. 2006, [cit. 2009-05-10]. <<http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=70695>>
- [8] ASME CODE Sect. IX, edition 2007, addenda July 2008
- [9] ASTM A370. *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. 2009
- [10] ASTM E23. *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. 2007
- [11] ASTM E562. *Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count*. 2008
- [12] ASTM E92 ed.2. *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. 2003

## **10 Seznam příloh**

Příloha 1: Materiálové osvědčení

Příloha 2: WPS

Příloha 3: Zpráva o svařování

Příloha 4: Návrh PQR

Příloha 5: Označená vada

Příloha 6: Po opravě

Příloha 7: Protokol ke zkoušce tahem a zkoušce lámavosti

Příloha 8: Protokol ke zkoušce rázem v ohybu

Příloha 9: Protokol k měření tvrdosti